

研发先进制造技术 服务天津工业发展

——走进天津市高速切削与精密加工重点实验室

Research and Develop Advanced Manufacturing Technology to Serve
Tianjin's Industrial Development

[编者按] 天津市高速切削与精密加工重点实验室依托天津市一流学科机械工程于2008年11月成立,面向高效高精加工的工艺、理论、装备,解决关键基础理论和工艺中的共性问题,重点开展难加工材料和复杂型面的高效高精数控加工机理与技术、高性能切削刀具涂层技术与表面改性技术、高端数控机床整机与单元技术、数控齿轮机床、精密/超精密加工技术与装备、工业机器人用精密RV减速机制造技术以及摩擦、磨损与润滑等研究,力争成为天津市先进制造技术研发与转化基地的重要组成部分。

科研条件

实验室现有研发面积1600m²、大型设备50多台(件),仪器设备总资产8000余万元。重点购置了精密与特种加工设备、切削测试仪器、材料分析仪器、分析与仿真软件,加工装备主要包括牧野、DMG、GF等世界著名机床企业的三轴/五轴高速加工中心、自动生产单元、线切割和电火花加工机床等,切削测试仪器主要包括奇石乐、德国西门子LMS等著名品牌的旋转切削测力计、台式切削测力计、高精度红外成像仪、高性能振动应变测试系统、高速摄像机、扫描电镜、电弧离子镀膜机、高功率脉冲磁控溅射系统、高温摩擦磨损试验机、超景深显微镜等。仪器设备国内领先,部分设备处于国际先进水平。

实验室的“高效高精加工技术及其装备”天津市创新科研团队,共有专职科研人员31人,其中教授9

人、副教授8人,天津市高校学科领军人才2人、中青年骨干创新人才5人,天津市“131”创新型人才4人,天津市高层次创新科技领军人才1人,天津市特聘教授青年学者2人,天津市优秀教师1人。

研究方向及特色

实验室在高速精密加工工艺研究、高速切削机理研究、高档数控机床研发和新型精密传动系统关键技术等领域进行了深入的研究。

针对航空航天、国防、医疗、电子等领域的难加工材料/结构,实验室开展了高效高精加工理论、工艺技术及其装备研究,承担了多项国家自然科学基金、国家科技重大专项、天津市的重大专项和自然科学基金等纵向课题,以及企业委托课题。在切削动力学理论、高速切削机理、刀具涂层、高档数控机床动态性能、数控齿轮啮合理论、精密/超精密加工工艺、快刀伺服、静压技术、精密RV减速

机制造技术以及摩擦、磨损与润滑等方向形成特色。

重要课题及科研成果

近5年,实验室承担“863”计划等国家级课题50余项,省部级课题40余项,其他纵向课题30余项,企业委托课题100余项,总经费近亿元;获天津市科技进步二等奖6项、三等奖4项,天津市专利金奖1项。发表论文300余篇,其中SCI/EI检索210余篇,申请发明专利40余项。

在高效加工机理及工艺方面,重点开展了绝热剪切变形与仿真、切削动力学、切削动静变形预测与控制、超声加工等理论的深入研究。依托国家自然科学基金项目“基于损伤力学的高速切削锯齿形切屑及动态切削力预测”,提出基于线性扰动分析的高速切削绝热剪切临界条件预测模型,考虑压应力影响和高速切削的变形特点,通过线性扰动分析获得的非经验性绝热剪切临界条件判据,

为高速切削参数优化提供理论依据。基于“钨合金电塑性变形机理与电脉冲辅助切削技术研究”等国家及省部级项目,开展了难加工材料/结构高效率高精度加工方法和理论研究。探索了声-电协同加工与钨合金表面创成、表面形貌演变规律、刀具磨损、精度和性能映射等新原理,突破了超硬大比重合金材料高表面完整性加工关键技术。构建了考虑塑-脆转化的玻璃材料的超声辅助磨削的切削力统一模型。提出了基于切削过程振动主动控制策略与被动控制策略协同的薄壁零件加工控制新方法。开发了基于柔性支撑主动控制思想的薄壁零件的切削振动主动控制系统,实现了零件切削过程中静态和动态变形的在线补偿。

在先进刀具涂层研究方面,依托“含氧 Zr-B-N 纳米复合刀具涂层的结构和性能研究及机理分析”等国家自然科学基金项目,采用“纳米复合+多层复合+功能梯度”混合式涂层结构设计方法,研制 AlCrSiN/AlCrSiON 多层纳米复合涂层及功能梯度涂层和 CrSiN/MoS₂ 自润滑刀具涂层;自创“硼氮化物涂层成分反向设计”方法,建立了涂层微观结构的调控机制和预氧化机制,发明用于高速切削高温合金的多尺度 Zr-B-O-N 刀具涂层制备工艺,创新性地将在氮化物用于刀具涂层,性能超过国外同类产品。

在高档数控机床研发方面,结合国家重大专项、天津市的重大专项和自然科学基金等纵向课题,以及企业委托课题,重点针对齿轮加工机床开展研究。在机床整机性能优化方面,采用整机静动刚度正向设计方法,攻克整机静刚度快速建模和评估关键技术,掌握了整机/功能部件静刚度匹配设计方法、T型床身三点支撑优化设计方法、考虑末端动刚度为约束的整机质量匹配设计方法。围绕智能主轴、进给系统、伺服系统、在线测

量技术等,开展了大型数控机床工作台主轴静压轴承技术、液压伺服主驱动和伺服让刀耦合联动技术、任意螺旋角电子螺旋导轨设计及应用技术、螺旋进给、等切削力自适应圆周进给等加工工艺技术以及基于机器视觉与人工智能的齿轮在线测量技术的研发,解决高端数控机床高速、高精度等方面的重大共性技术问题。

在新型精密传动系统关键技术方面,主持国家“863 计划”的“机器人用 RV-6AII 减速器”项目;参与承担了国家“863 计划”的“工业机器人高精度高效率减速机开发”项目。针对工业机器人关节减速器高精度/精度保持性能、高刚度、高可靠性、高承载能力需求,开展了 RV 减速器传动精度设计方法、关键零件加工/整机装配工艺、静动特性测试等研究,提出了减速器专用非标薄壁轴承优化设计、精度分析与综合方法,开发了关键零件专用加工刀具,研制了国内首台高精度误差测量仪器,揭示了减速器精度损失机理,攻克了 RV 减速器关键零件刮齿技术、零件组配优化技术。经过多年的技术积累与沉淀,已掌握 RV 减速器设计制造成套关键技术,助力工业机器人国产化进程。

► 科技成果转化 ▼

在航空航天高效加工领域,提出火箭大型壁板加工精度控制策略和进给速度优化方法,实现了制造工艺智能编程和制造过程的在线检测,突破了核心技术。提出基于切削振动主动与被动的协同控制技术,以最大材料去除率、齿距特性等影响下的最佳稳定性水平为优化目标,优化加工参数,明显提高无颤振加工的效率。上述成果已应用于新一代运载火箭长征五号和长征七号等型号工程的研发。

在国产机床工业软件开发领域,针对格里森螺旋锥齿轮加工机床瓶颈“格里森螺旋锥齿轮加工调整技

术(TCA)”,建立了螺旋锥齿轮大小轮加工啮合的数学模型,开发了工程实用化螺旋锥齿轮 TCA 软件,用于加工参数调整及优化计算,提高了机床的加工性能,技术水平达到了美国格林森公司机床水平,攻克了制约国产螺旋锥齿轮加工机床 40 余年的“卡脖子”技术难题。

在刀具涂层技术领域,发明的 AlCrSiN/AlCrSiON 多层复合涂层、AlCrSiN/MoS₂ 自润滑涂层,攻克了大载荷断续切削钛合金垂尾大梁、钨钼合金制品时刀具易崩刃的难题,刀具寿命相比国外同类先进产品提高 2~3 倍,切削温度降低 40℃ 以上。相关成果已在国内军工、机械制造领域和刀具生产企业广泛应用,获 2019 年天津市科技进步二等奖。

在新型精密传动系统关键零部件领域,授权发明专利 11 项,核心技术在中船重工 707 研究所进行产业化应用。研制的 RV15、RV30 等全系列减速机达到国际先进水平,填补了国内空白。与天津宝涑精工集团等企业联合承担 4 项天津市重大专项,已建成国内领先的智能机器人焊接生产线,产生了较好的经济效益。获天津市科技进步二等奖 2 项,三等奖 1 项。

► 对外交流与合作 ▼

实验室注重对外交流与合作,与中国通用技术集团、天津航天长征火箭制造有限公司、安泰天龙钨钼科技有限公司、国家超级计算天津中心、天津宝涑精工集团有限公司等单位深入开展科教融合合作,作为联盟秘书长单位组建“天津高端加工产业技术创新联盟”。与中国科学院、国家机械科学总院、天津大学、上海交通大学、西安交通大学、山东大学等科研院所和高校也建立了良好的合作关系。今年将承办第九届高速与复合加工国际会议,进一步扩大实验室影响力。(采访 逸飞)